

事業実施者名：前出産業株式会社

課題名：針葉樹を主燃料にできる

純国産セラミック製蓄熱式薪ストーブの開発

1. 事業目的

森林は、国土の保全、水源のかん養等のほか、二酸化炭素の吸収源として重要な役割を果たしている。しかしながら、近年、森林を支える林業・山村の元気がなくなり、間伐等の手入れが不足する森林が増えるなど、森林の機能の低下が危ぶまれている。将来の森林づくり、地球温暖化の防止に向け、地域にとってかけがえのない森林を健全に育てることが今必要となっている。

そのために京都議定書の第一約束期間の終期である平成24年度までの集中的な間伐等の実施の促進を図るため、地方債の特例、交付金の交付等の措置を講じた「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」（間伐等促進法）が、平成20年5月16日に公布・施行された。各地で3年ほど前から再生森づくりとして各地で間伐事業が始まったが、この特別措置法により、より一層の間伐が盛んになった。間伐される木は、戦後の木材需要急増時に尾根の頂上付近まで天然林を伐採し、その跡にスギ・ヒノキなどの針葉樹を植林して人工林した時期のものである。大きな林道で重機が入るところに近い間伐材は、住宅木材等に使われるが、ほとんどが間伐材の引き出しに採算が合わない、木径が小さいから用途がないということで放置状態になっており、間伐材が腐り、メタンガスなどを発生させるなど逆に環境を悪化させていることになっている。

そのような状況下で、平成21年9月、当時の鳩山首相が国連気候変動首脳会合にて温室効果ガス削減目標を2020年に1990年比25%削減という目標が発表された。そのなかで森の再生（植林、間伐してCO₂を固定化する森づくり）により3.7%削減しようとしている。

そこでこの森の再生で発生する針葉樹中心の間伐材を新エネルギーの燃料として使用して今まで化石燃料中心であった冬の暖房を行うことにより、家庭から発生する暖房に関わる二酸化炭素量（現行12.4%と試算）を下げる可以考虑とされる。

現在、日本で普及している多くの薪ストーブは铸铁製の薪ストーブで、その燃料は、薪の代名詞である広葉樹（檜（なら）、樫（かし）、櫟（けやき）など）中心である。しかし現在の日本の森林構成は、杉・檜などの針葉樹が主であり、特に間伐材などは100%針葉樹といっても過言ではない。その針葉樹を薪ストーブの燃料として使用したいが、現在はほとんど焚きつけに使う程度の状況となっている。針葉樹が使われない理由は、铸铁製薪ストーブで針葉樹を使用した場合、酸素吸入量を落としても、燃焼温度を300℃～400℃・本体温度300℃程度になるように調節することが難しく、簡単にそれ以上の温度になり、ストーブ本体の铸铁などの部品が変形することがあげられる。また、広葉樹に比べ燃焼時にタールを多く排出し、そのタールが煙突に付着し、時には、煙突火災（煙突内部が燃える）を引き起こす原因になる場合もある。

針葉樹を薪ストーブの主燃料として使用するためには

- ①燃焼時にタール、煤煙の発生が非常に少ない温度（900℃以上）で燃やすことができる。
- ②薪を短時間で燃やすため、その発生した熱を蓄熱できる部分が必要（熱変換効率の向上の

ため蓄熱部がある）。

③900℃でも耐えうる材料で構成されている（鋳鉄製のものは変形してしまう）。
の条件をもつ薪ストーブが必要となる。

北欧を中心とする海外では上記条件を満たしている製品、たとえばフィンランド製ソープストーンを使用した製品、耐火レンガを使用した現場施工品（ペチカ）などがあるが、いずれも非常に大きく、かつ重さも1 t以上であり、さらに高価であるため、日本ではほとんど普及していない。特に非常に大きいというのは日本住宅事情から考えると致命的欠陥である。

そこで今の日本の住宅事情を考えた場合、日本住宅環境に合った小型で、針葉樹を燃やしてもタールやばい煙の発生が非常に少ない高効率の蓄熱式薪ストーブの開発を目的とする。現在の実験試作器については、針葉樹を燃やして自然吸気で燃焼温度を900℃以上に到達させることはできるものの、本体自体が耐熱レンガの段積みで作られるため、W600×D600×H850mmと大きいものとなってしまっている。

本事業においてはその燃焼部の構造を踏まえた上で、特に小型化・低コスト化のため専用の型を起こし、耐火レンガではできない耐火セラミック製の専用多機能部品を作成し、ドアなどの一部しか鋳鉄部品を使わないセラミック製の蓄熱式薪ストーブを製作する。

また2次的ではあるが、針葉樹の間伐材を新エネルギーとしての再生燃料として行う事業化を補助的に後押しすることを目的とするとともに、このことにより森の再生で発生する針葉樹中心の間伐材を新エネルギーの燃料として使用して今まで化石燃料中心であった冬の暖房を行うことにより、家庭から発生する暖房に関わる二酸化炭素量（現行12.4%と試算）を下げることを最終目的とする。

2. 事業実施目標

2.1. 薪の燃焼効率の高効率化

針葉樹を自然吸引で燃やして燃焼室の燃焼温度900℃を達成。燃焼部のガス分析などの解析により燃焼室の再設計を行い、燃焼効率85%以上を達成する。

2.2. 薪の燃焼時の環境性能向上

燃焼効率が85%以上達成することにより、煤煙が少なくなることを専用の測定器を作成して証明していく。（対 既存鋳鉄製薪ストーブ）

2.3. 小型化

W500×D500×H750

日本住宅に合う設置面積と理想の高さ

2.4. 低コスト化

本体量産価格30万円を目指せる専用の型を中心とした部品構成で、普及を考えた場合一昔の固定式FFファンヒーターを目標価格とする。

2.5. 従来製品（類似品）との比較

製品タイプ	蓄熱性	大きさ・重さ	デザイン	価格
鋳鉄製薪ストーブ 例：ダッチウエストコンベクション	× 蓄熱式ではない	△ W560mmD590mm H750 172kg	○ 従来型デザイン	△ 本体で 35 万円前後
蓄熱式薪ストーブ 例：Tigchel heaters 4D	○	× W700mmD700mm H1150 700kg	○ スタイリッシュなデザイン	× 本体で 110 万円程度(輸入)
ペチカ (ロシア式暖炉)	○	× 一畳を超える／造り付け	× 大きな暖炉	× 150 万円を超える
開発製品	○	○ W500mmD500mm H750 200kg 以下	○ シンプルでコンパクトに	○ 最終的に本体 30 万円以下で

3. 事業概要

3.1 事業実施内容

3.1.1 小型化・低コスト化

小型化・低コスト化にはシンプルな構造で誰でも簡単に組み立てられる構造にする必要がある。そのため構造を薄肉化するために各部品を専用の型で作成、成形することにより、レンガではできない耐火セラミック製の、誰でも簡単に組み立てられ、また薄肉でも蓄熱がある専用多機能部品を製作設計した。

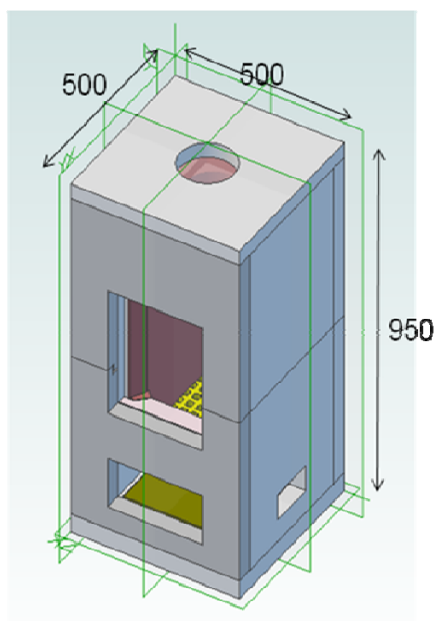
(1) 小型化に向けた改良ポイント

- ①小型化のための各機能部品の一体化
- ②最低の幅の大きさで出来るだけ長くなる煙道構造で、かつ蓄熱ができる設計
自然吸引で得た空気は、温めてから燃焼室に送る構造にすること（2次燃焼も含む）
- ③鋳鉄部品である空気吸入口、フロントドア、掃除口は、市販品を利用した設計

(2) システム主要仕様

①外観（大きさ）

W500×D500×H900

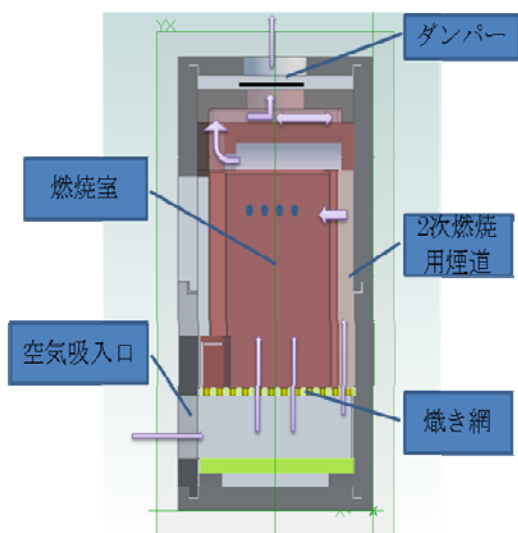


図表 1 : W×D×H

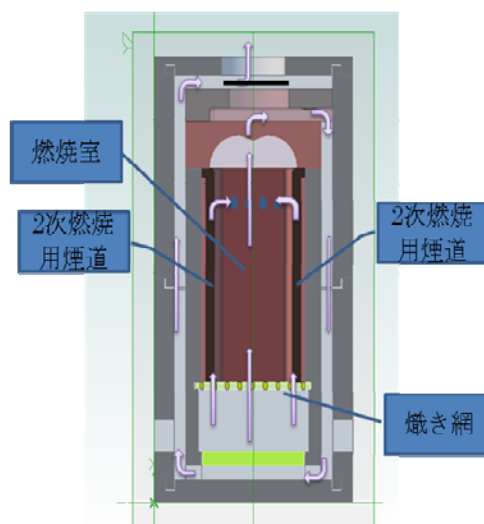


図表 2 : 実際の外観

②内部構造 断面



図表 3 : 側面断図



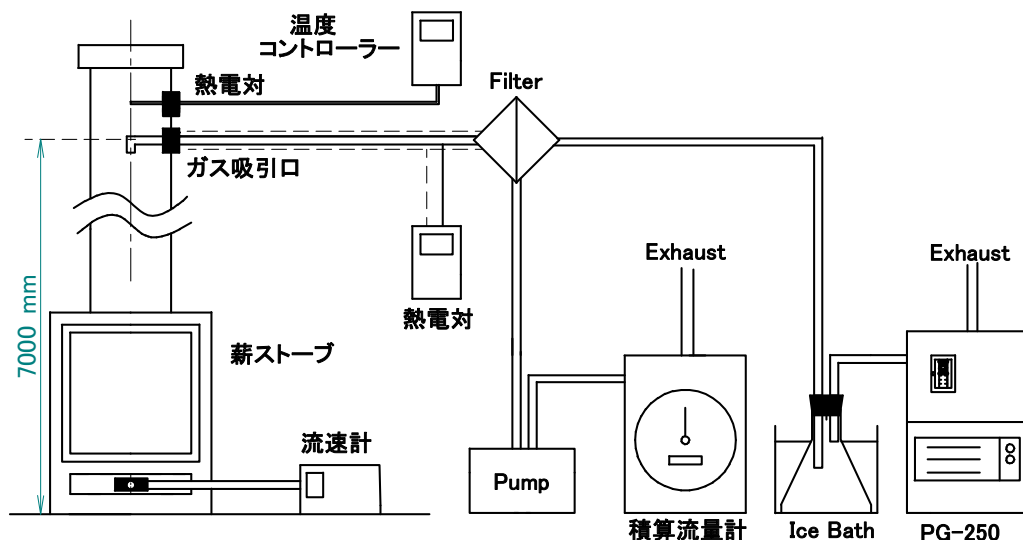
図表 4 : 正面断面

空気吸入口より空気は取り入れられ、熾き網、2次燃焼用煙道を通して燃焼室に入る。その後燃焼で発生した煙はダンパーが開いていたならそのまま煙突へ。ダンパーが閉まっている場合は、右側面内部の煙道、ベース上の煙道、左側面煙道、煙突へと流れる。

3.1.2 薪の燃焼効率の高効率化及び環境性能向上

立命館大学、理工学部燃焼工学の吉原福全教授の協力を得て、燃焼部の THC、O₂、CO₂、CO 濃度などを測定・解析し、各部品の見直し、設計変更を行った。また環境性能向上実証証明として煤煙測定も行った。その時同時に表面温度も測定した。

（１） 燃焼実験装置システム



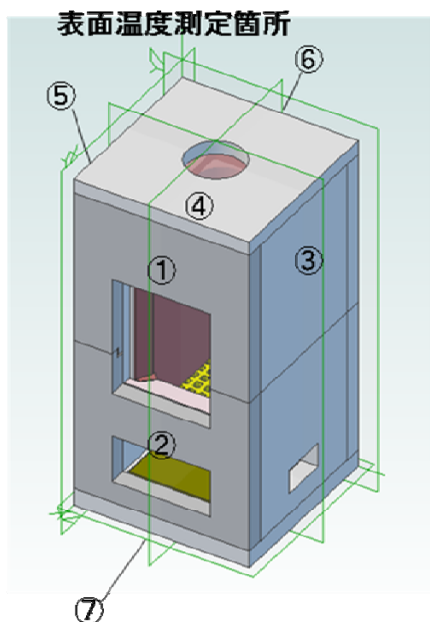
図表 5：燃焼実験装置概略図

①燃焼実験方法

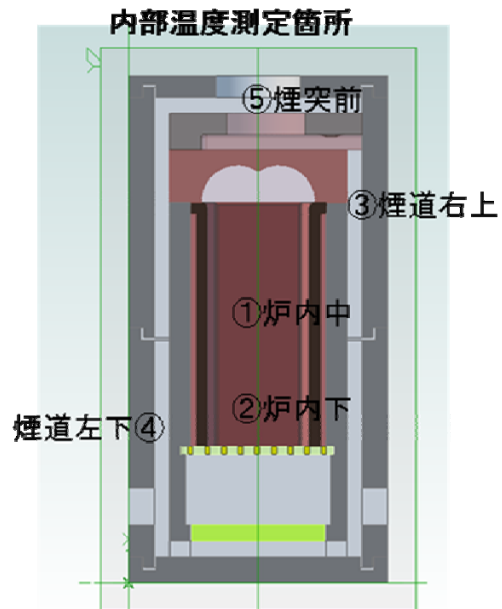
上記に実験装置概略を示す。燃料の薪は松樹幹部で、およそ約 30mm × 約 40 × 約 300 に寸断したものを 22～24 本束ね、焚き付け用の小枝を含み 4kg を 1 回の燃焼実験に供した。また、薪の含水率はおおよそ 7% で、新聞紙 4 枚を点火用に用いた。排ガスのサンプリングは薪ストーブ設置面から高さ約 7.0m の煙突内中心部から $\phi 6.0$ mm、長さ約 1.0m の SUS 管を介して行った。微粒子 (PM) の測定はテフロン製フィルターを用いて行った。SUS 管内部で水分および炭化水素が凝縮し、PM の捕集効率が低下するのを防ぐため、SUS 管をリボンヒーターにより 120℃ に昇温した。サンプリング流量は約 1 L/min 一定とし、サンプリング総量を積算流量計で計測し、サンプリング前後のフィルター重量差から排ガス中の PM 濃度を計算した。また、排ガス総質量に PM 濃度を乗じて PM 総排出量を算定した。サンプリング前後のフィルター重量の測定は、恒温乾燥炉で 90℃ で 1 時間乾燥させた後に行った。排出ガス中の CO、CO₂、O₂、NO 濃度は堀場製排ガス分析装置測定 PG-250 によって計測した。排ガス試料は上記 SUS 管から分岐して吸引した。分析計手前で試料排ガスの温度を 0℃ まで下げて、水分を凝縮し、分析計内での結露を防止した。薪ストーブの吸入空気流量は、吸引口に 55mm × 220mm、長さ 200mm のダクトを取り付け、ダクト端面での流速分布を計測して求めた。排ガス成分および流速データは 1sec 毎に自動計測・記録した。煙突内温度はガス吸引部直上で熱電対を用いて 5 分毎に計測した。

（２） 温度測定実験

下記の図のように、薪ストーブの表面温度及び内部温度の測定を行った。上記燃焼実験と同時に行った。



図表 6：表面温度箇所



図表 7：内部温度測定箇所

（３） 燃焼実験の様子



図表 8：2Fでの燃焼実験装置



図表 9：1Fでの表面温度測定と吸入空気

3.1.3 モニター調査

モニター調査においては滋賀県立大学 環境科学部 准教授 鶴飼 修氏にお願いをして県立大学が管理し、実際に学生が居住している滋賀県彦根市石寺町にあるエコ民家（<http://heron1263.exblog.jp/>）に設置して使いやすさ、温かさなどの試作品の特徴と課題をモニター調査した。

（１）薪ストーブの設置と調査方法

①薪ストーブの設置

滋賀県彦根市石寺町にある「エコ民家３号館」に当該薪ストーブを設置した。

建物は築 50 年ほどの 2 階建て民家（新家部分、新家部分以外にも建物が連続している）であり、木造在来工法、土壁真壁造り、内壁は珪藻土塗り、屋根は瓦葺き、外壁はトタン葺き、サッシはアルミサッシ単板ガラスである。近年の高気密高断熱の住宅とは異なり、気密性は低い。設置した部屋（居間）は 1 階の勝手口に面した土間で広さは約 12 m²、天井高さ 2.4m で容積は約 28.4 m³ である。



図表 10：薪ストーブ設置図



図表 11：薪ストーブの部屋



図表 12：設置状況



図表 13：燃焼状況

②調査方法

モニタリング調査は、調査員が当該建物で生活し、必要に応じて薪ストーブを利用する方法で

実施した。ただし、当該室は薪ストーブ以外に暖房器具がないため、室内に居住する際は基本的に薪ストーブを利用することとなる。

調査は、調査員が当該薪ストーブの利用状況を記録する。30 分刻みで着火、薪の投入量（秤で測定）、追加投入量、気が付いた点を記録する。並行して、室内外に設置された温湿度計（TR-74Ui 照度・紫外線・温度・湿度データロガー（温湿度のみ計測））で温湿度を計測する。これらのデータを元に、薪の投入状況と温度変化の関係について明らかにしてもらう。

4. 事業実施の成果

4.1. 事業実施成果

4.1.1 燃焼効率・暖房効率と微粒子（PM）濃度測定実験

（1）燃焼効率・暖房効率 評価算定式

排ガス濃度から燃焼効率を算定した。燃焼効率 η_{Comb} は焼却残渣中に含まれる未燃炭素 m_C および CO の排出質量 m_{CO} から以下のように算定される。

$$\eta_{Comb} = \frac{m_W Q_W - \{m_{CO} Q_{CO} + m_C Q_C\}}{m_W Q_W}$$

ここに、 m_W は薪の質量、 Q_W は薪の発熱量であり、本研究で用いた薪では 17,800 kJ/kg である。

また、 Q_{CO} 、 Q_C は CO および 炭素の発熱量であり、それぞれ、10,100 kJ/kg、32,800 kJ/kg である。なお、炭化水素や未燃タールおよび PM 等の未燃焼成分の燃焼効率への寄与は微少なので、これらについては無視した。

暖房効率（エネルギー利用効率）は以下のように算定した。暖房に用いられた熱エネルギーは、薪のもつエネルギーから煙突から放出された熱エネルギーと未燃焼成分のエネルギーを差し引いて得られるので、以下のように表される。

$$\eta_S = \frac{m_W Q_W - \{m_{CO} Q_{CO} + m_C Q_C + m_E Q_E\}}{m_W Q_W}$$

ここに、 m_E は排ガス質量、 Q_E は排ガス単位質量あたりの熱エネルギーである。 m_E は、吸入空

気質量流量 $\dot{m}_A$ と排ガス組成から以下の式により、排ガス質量流量を算定し、 $m_E = \int_0^t \dot{m} dt$ として求めた。

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_E &= \dot{m}_A + \dot{m}_C + \dot{m}_{H_2O} \\
 &= \dot{m}_A + (1 + 1.5) \times 0.233 \dot{m}_A \frac{0.2727x_{CO_2} + 0.4286x_{CO}}{0.7272x_{CO_2} + 0.2857x_{CO} + x_{O_2}} \\
 &= 0.5825 \frac{0.2727x_{CO_2} + 0.4286x_{CO}}{0.7272x_{CO_2} + 0.2857x_{CO} + x_{O_2}}
 \end{aligned}$$

ここに、 x_{O_2} 、 x_{CO_2} 、 x_{CO} はそれぞれ、 O_2 、 CO_2 、 CO のモル分率である。なお、上式には N_2 、 H_2O のモル分率に対する補正がなされている。また、今回の実験では排出ガス中に THC 、 H_2 は排出されなかったため、これらの影響は無視した。

（２） 微粒子（PM）濃度評価算定式

PM濃度の算出の手順は以下の通り。

PM濃度[g/m³] = 実験による全PM量 / 空気吸入口閉じるまで吸引空気量

単位時間当たりのPM量[g/hr] = PM濃度 / 実験時間 × 60

単位時間当たりのPM量の算出においては、連続運転を前提にするため、その実験時間で割る事で、その実験における1分間のPM量を算出する。

（３） 実験条件と実験結果

１） 実験条件

図表 1 4

条件	実 験 内 容
1	着火後、煙道制御ダンパー，空気吸入口を全開の状態に保ったまま燃焼させる。
2	着火後、30 分後（煙突付け根温度約 700℃位）に煙道制御ダンパーを閉じる。燃焼ガスを向かって右方向から下そして左方向、煙突と循環させる。着火から 75 分後 ほぼ薪が熾き状態であることを確認し、空気吸入口を閉じる。（P3 正面断面図参照）
3	着火後、煙突付け根温度約 300℃で煙道制御ダンパーを閉じる。燃焼ガスを前後交互に向かって右（左）方向から下そして左（右）方向、煙突と循環させる。着火から 75 分後 ほぼ薪が熾き状態であることを確認し、空気吸入口を閉じる。
4	着火後、煙突付け根温度約 200℃で煙道制御ダンパーを閉じる。燃焼ガスを前後交互に向かって右（左）方向から下そして左（右）方向、煙突と循環させる。着火から 140 分後 ほぼ薪が熾き状態であることを確認し、空気吸入口を閉じる。
5	着火後、煙突付け根温度約 200℃で煙道制御ダンパーを閉じる。燃焼ガスを前後交互に向かって右（左）方向から下そして左（右）方向、煙突と循環させる。着火から 100 分後 ほぼ薪が熾き状態であることを確認し、空気吸入口、煙突ダンパーを閉じる。
6	バーモントキャスティングス社アスペンの鋳鉄製薪ストーブで比較実験

2) 実験結果

燃焼実験まとめ

図表 1 5

項目	単位	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	条件 5	条件 6
未燃ガス	kJ	1254	2136	1936	2299	1896	5027
燃焼効率	%	97.3	95.8	95.8	95.8	95.8	92.4
P M排出量	g/hr	3.383	0.601	1.403	4.65	2.513	1.254
排出損出	kJ	39634	16710	10654	7735	8929	18175
暖房効率	%	37.9	71.3	81	84.7	83.5	64.7

以下に各条件の詳細を示す

2) -1 条件1 結果

天気：晴れ，気温[℃]：9.5，湿度[%]：73，薪数[本]：21

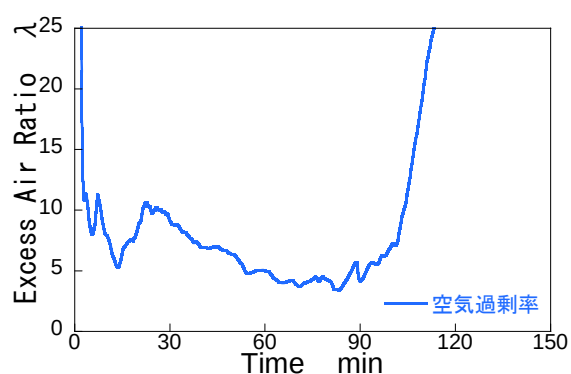
備考：

生成ガス成分マスバランス及び暖房効率

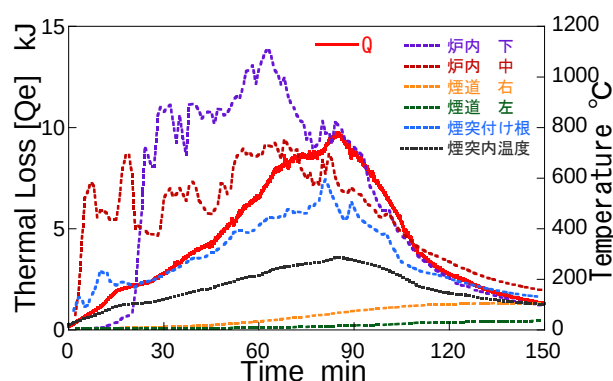
生成PM量(実験開始～吸気口ダンパー閉じるまで)

成分	g	C-g	O-g	H-g	N-g
CO	121.2	51.9	69.3		
CO ₂	5641.4	1538.6	4102.8		
NO	1.2		0.6		0.6
H ₂ O	1590.5		1413.8	176.7	
灰	15.0	15.0			
合計	7369.3	1605.5	5586.5	176.7	0.6
付着H ₂ O	278.2		247.3	30.9	
消費O ₂	4274.9		4274.9		
松	3705.8	1482.3	1976.4	247.1	
差分	889.6	-123.2	912.1	101.2	-0.6
暖房効率	37.9				

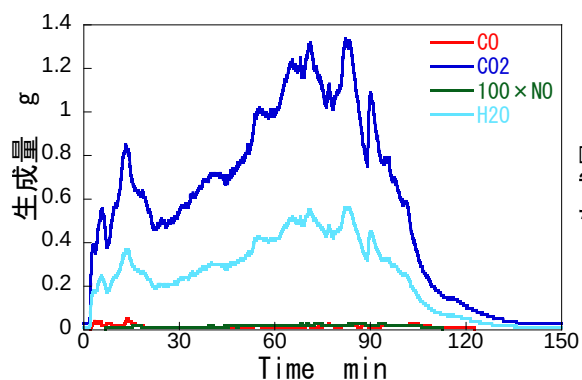
フィルター重量(乾)	g	0.0824
実験後重量(乾)	g	0.0876
実験中積算空気量	L	60.1
PM濃度	g/m ³	0.087
総量	g	8.457



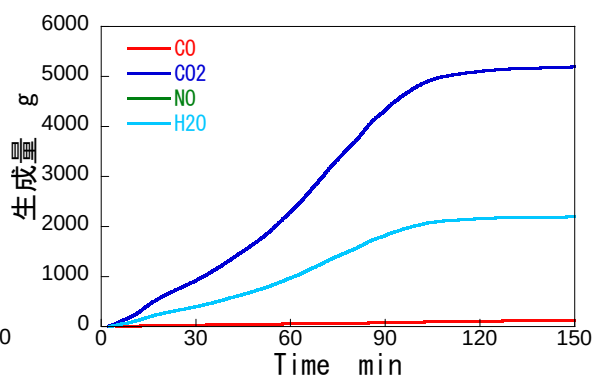
(a) 空気過剰率の時間変化



(b) 温度および熱損失の時間変化



(c) 燃焼生成物質の生成量



(d) 燃焼生成物生成量の累積

2) -2 条件2 結果

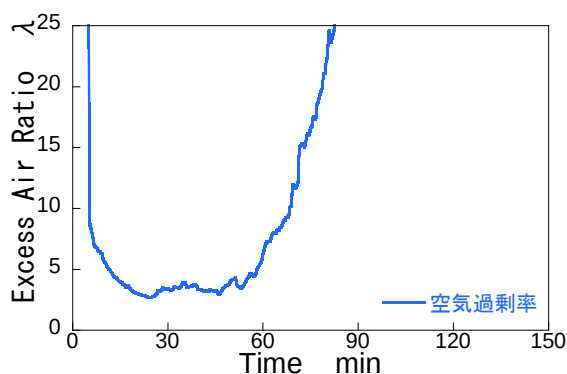
天気：晴れ，気温[℃]：6.0，湿度[%]：55，薪数[本]：22

生成ガス成分マスバランス及び暖房効率

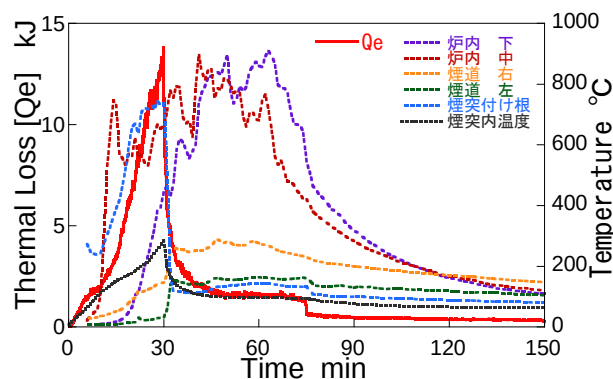
生成 PM 量(実験開始～吸気口ダンパー閉まで)

成分	g	C-g	O-g	H-g	N-g
CO	214.4	91.9	122.5		
CO ₂	5106.2	1392.6	3713.6		
NO	0.8		0.4		0.4
H ₂ O	1484.5		1319.5	164.9	
灰	20.0	20.0			
合計	6825.8	1504.5	5156.1	164.9	0.4
付着H ₂ O	278.2		247.3	30.9	
消費O ₂	4282.8		4282.8		
松	3705.8	1482.3	1976.4	247.1	
差分	1441.0	-22.2	1350.5	113.0	-0.4
暖房効率	71.3				

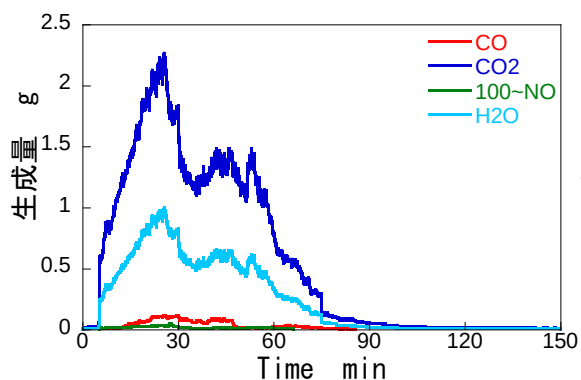
フィルター重量(乾)	g	0.0777
実験後重量(乾)	g	0.0782
実験中積算空気量	L	28.3
PM濃度	g/m ³	0.018
総量	g	1.502



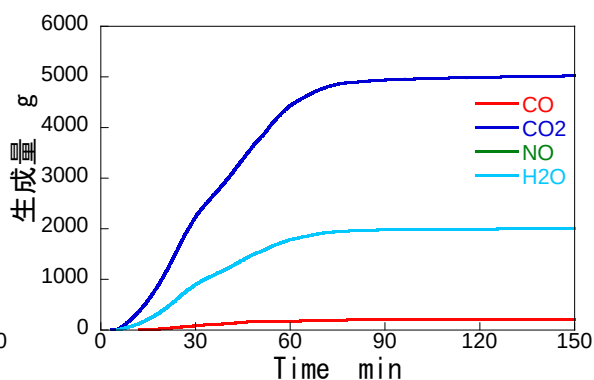
(b) 空気過剰率の時間変化



(b) 温度および熱損失の時間変化



(c) 燃焼生成物質の生成量

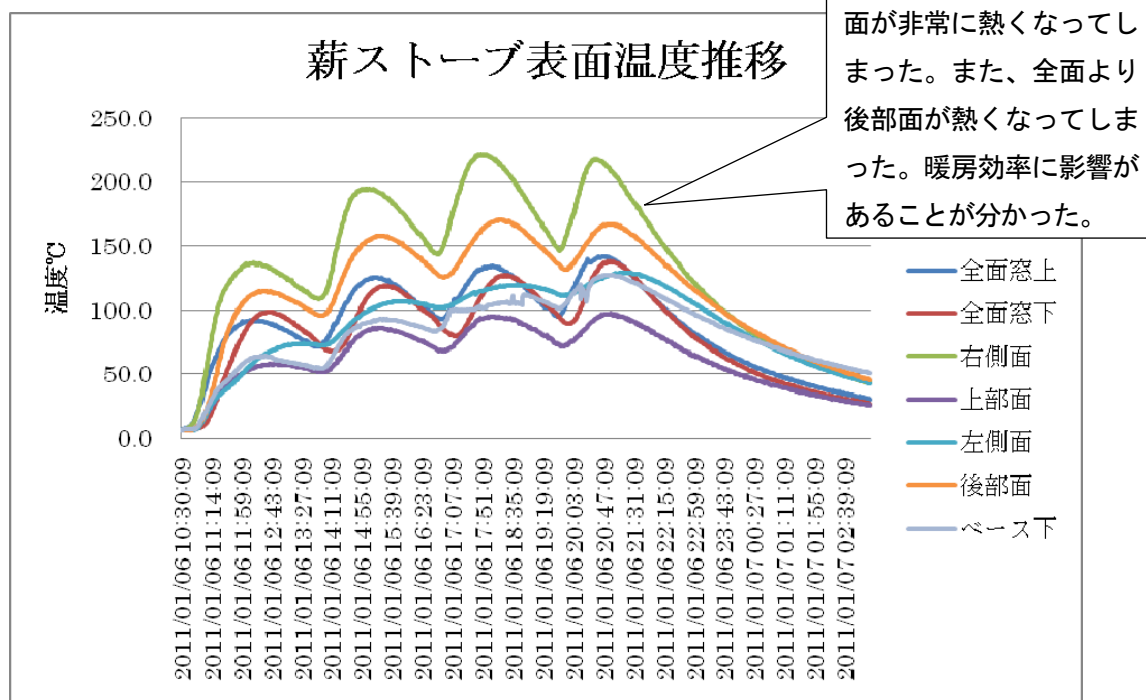


(d) 燃焼生成物生成量の累積

暖房効率は71.3と高くなく、これは煙道制御ダンパーを閉じて、燃焼ガスを循環させるタイミングが着火30分後では遅く、その間に多くのエネルギーをストーブに蓄熱すること無く排気に逃がしていることによる。また、燃焼がほぼ完結する着火後75分で空気吸引口を絞ったが、熱損失 Q_E がゼロではなく、空気がストーブ内に蓄積された熱を奪って排気から排出しているものと考えられ、空気吸引口の密閉精度が高くないことから、煙突にダンパーを設ける必要がわかった。

2) - 2 - 1 薪ストーブ表面温度測定実験

条件2を3時間ごとに4回繰り返す。



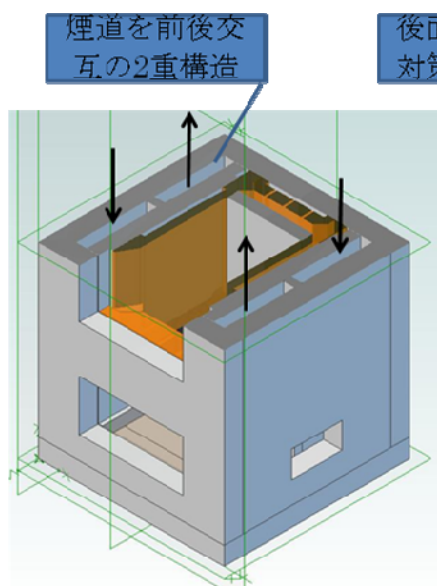
図表 1 6 : 各部の温度推移

2) - 2 - 2 条件2の実験後の改造点

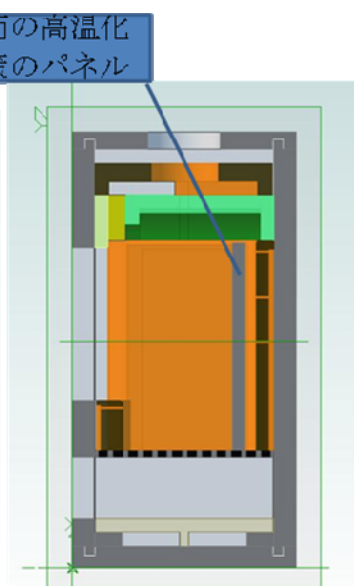
- 煙突ダンパー（2次ダンパー）設置
- 表面温度測定実験により右側面のみ熱くなるため、内部の煙道を前後交互になるように2重構造にする。
- 後面も若干熱くなるために燃焼部内部後に30mmのSK材を追加



図表 1 7 : 改造 a)



図表 1 8 : 改造 b)



図表 1 9 : 改造 c)

2) - 3 条件3 実験結果

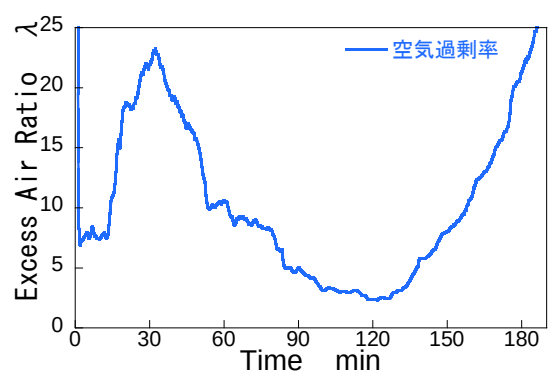
天気：晴れ，気温[℃]：11.5，湿度[%]：58，薪数[本]：22

備考：

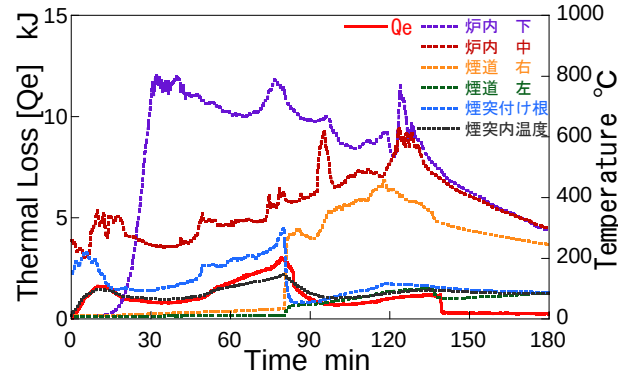
生成ガス成分マスバランス及び暖房効率 生成PM量(実験開始～吸気口ダンパー閉じるまで)

成分	g	C-g	O-g	H-g	N-g
CO	183.7	78.7	105.0		
CO ₂	4917.3	1341.1	3576.2		
NO	0.8		0.4		0.4
H ₂ O	1378.2		1225.0	153.1	
灰	25.0	25.0			
合計	6504.9	1444.8	4906.6	153.1	0.4
付着H ₂ O	278.2		247.3	30.9	
消費O ₂	3878.0		3878.0		
松	3705.8	1482.3	1976.4	247.1	
差分	1357.1	37.5	1195.1	124.8	-0.4
暖房効率	81.0				

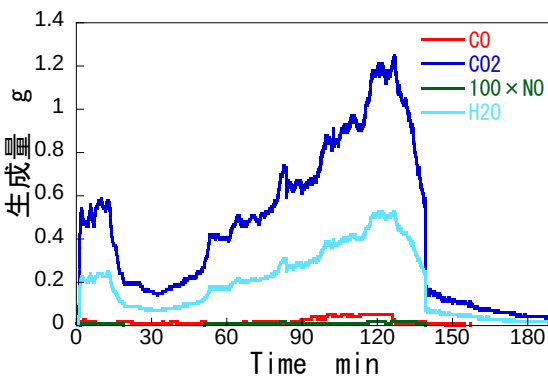
フィルター重量(乾)	g	0.0826
実験後重量(乾)	g	0.0864
実験中積算空気量	L	71.3
PM濃度	g/m3	0.054
総量	g	4.209



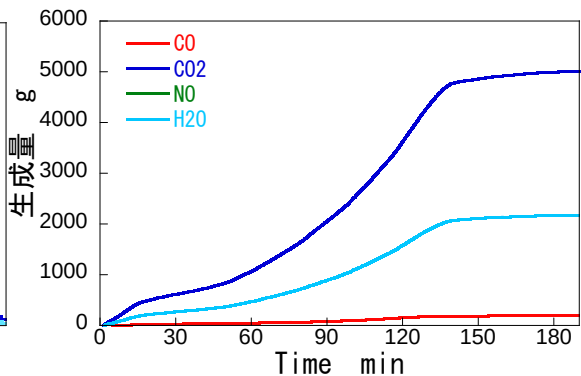
(a) 空気過剰率の時間変化



(b) 温度および熱損失の時間変化



(c) 燃焼生成物質の生成量



(d) 燃焼生成物生成量の累積

2) - 4 条件4 実験結果

天気：晴れ，気温[℃]：8.0，湿度[%]：72，薪数[本]：21

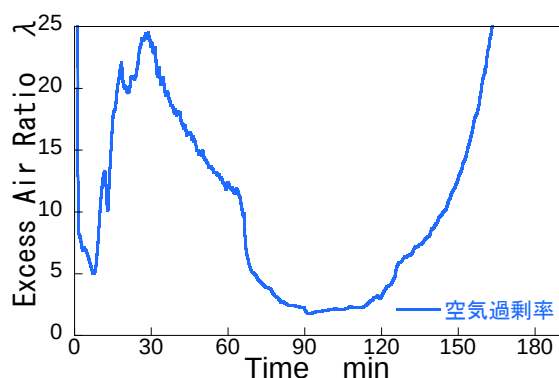
備考：

生成ガス成分マスバランス及び暖房効率

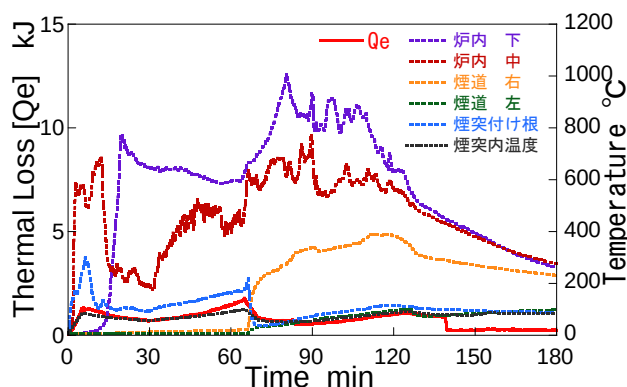
生成PM量(実験開始～吸気口ダンパー閉じるまで)

成分	g	C-g	O-g	H-g	N-g
CO	232.7	99.7	133.0		
CO ₂	5518.2	1505.0	4013.2		
NO	0.8		0.4		0.4
H ₂ O	1584.6		1408.5	176.1	
灰	15.0	15.0			
合計	7351.3	1619.7	5555.1	176.1	0.4
付着H ₂ O	278.2		247.3	30.9	
消費O ₂	4731.0		4731.0		
松	3705.8	1482.3	1976.4	247.1	
差分	1363.7	-137.4	1399.5	101.9	-0.4
暖房効率	84.7				

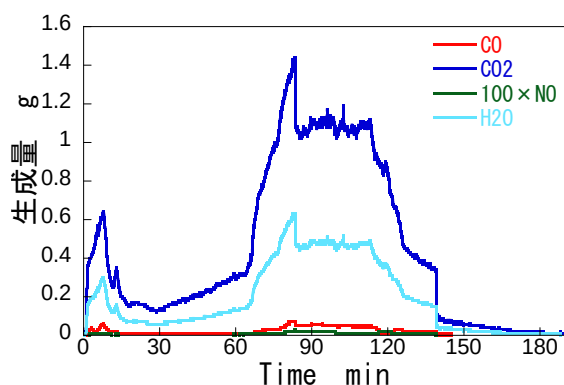
フィルター重量(乾)	g	0.0829
実験後重量(乾)	g	0.0951
実験中積算空気量	L	67.2
PM濃度	g/m ³	0.181
総量	g	13.95



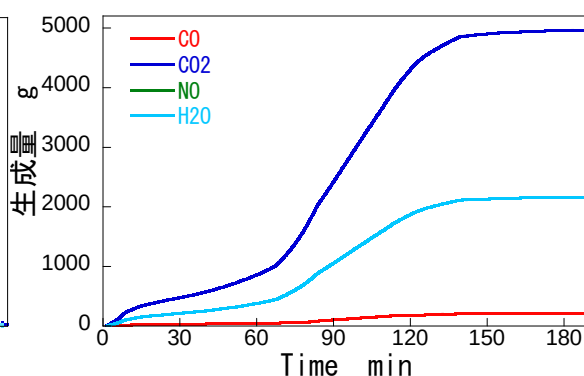
(a) 空気過剰率の時間変化



(b) 温度および熱損失の時間変化



(c) 燃焼生成物質の生成量



(d) 燃焼生成物生成量の累積

2) - 5 条件5 実験結果

天気：雨，気温[℃]：8.0，湿度[%]：72，薪数[本]：24

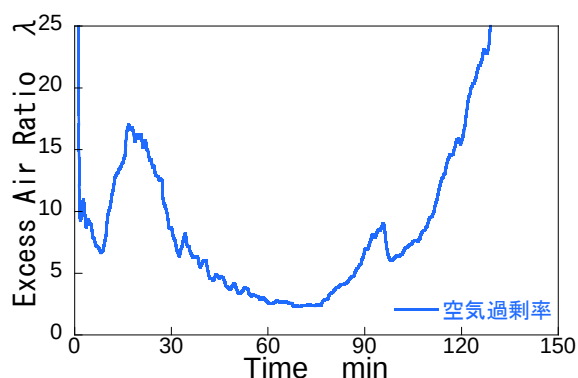
備考：

生成ガス成分マスバランス及び暖房効率

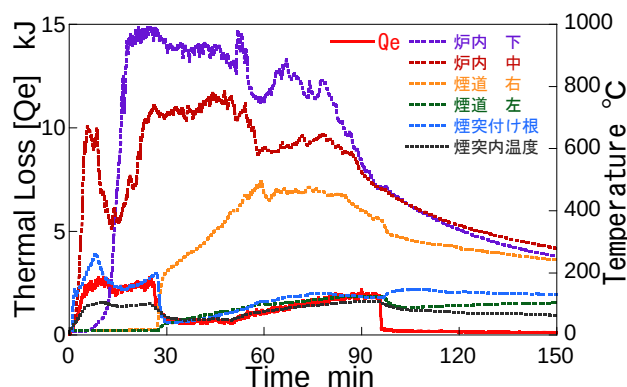
生成PM量(実験開始～吸気口ダンパー閉じるまで)

成分	g	C-g	O-g	H-g	N-g
CO	191.1	81.9	109.2		
CO ₂	4924.7	1343.1	3581.6		
NO	0.9		0.5		0.4
H ₂ O	1425.0		1266.7	158.3	
灰	27.0	27.0			
合計	6568.7	1452.0	4958.0	158.3	0.4
付着H ₂ O	278.2		247.3	30.9	
消費O ₂	3731.0		3731.0		
松	3705.8	1482.3	1976.4	247.1	
差分	1146.3	30.3	996.8	119.6	-0.4
暖房効率	83.5				

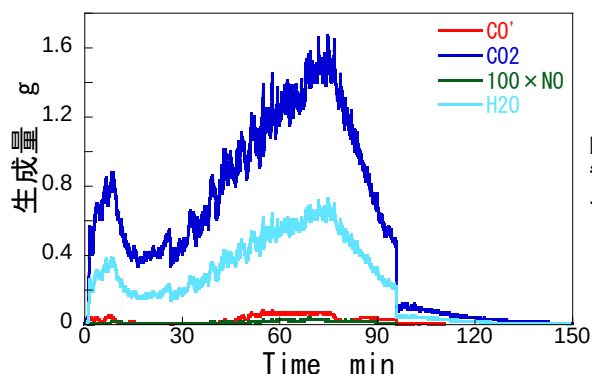
フィルター重量(乾)	g	0.0803
実験後重量(乾)	g	0.0835
実験中積算空気量	L	36.1
PM濃度	g/m ³	0.088
総量	g	6.283



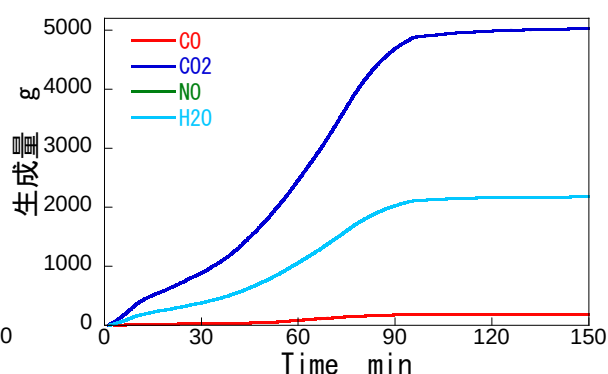
(a) 空気過剰率の時間変化



(b) 温度および熱損失の時間変化



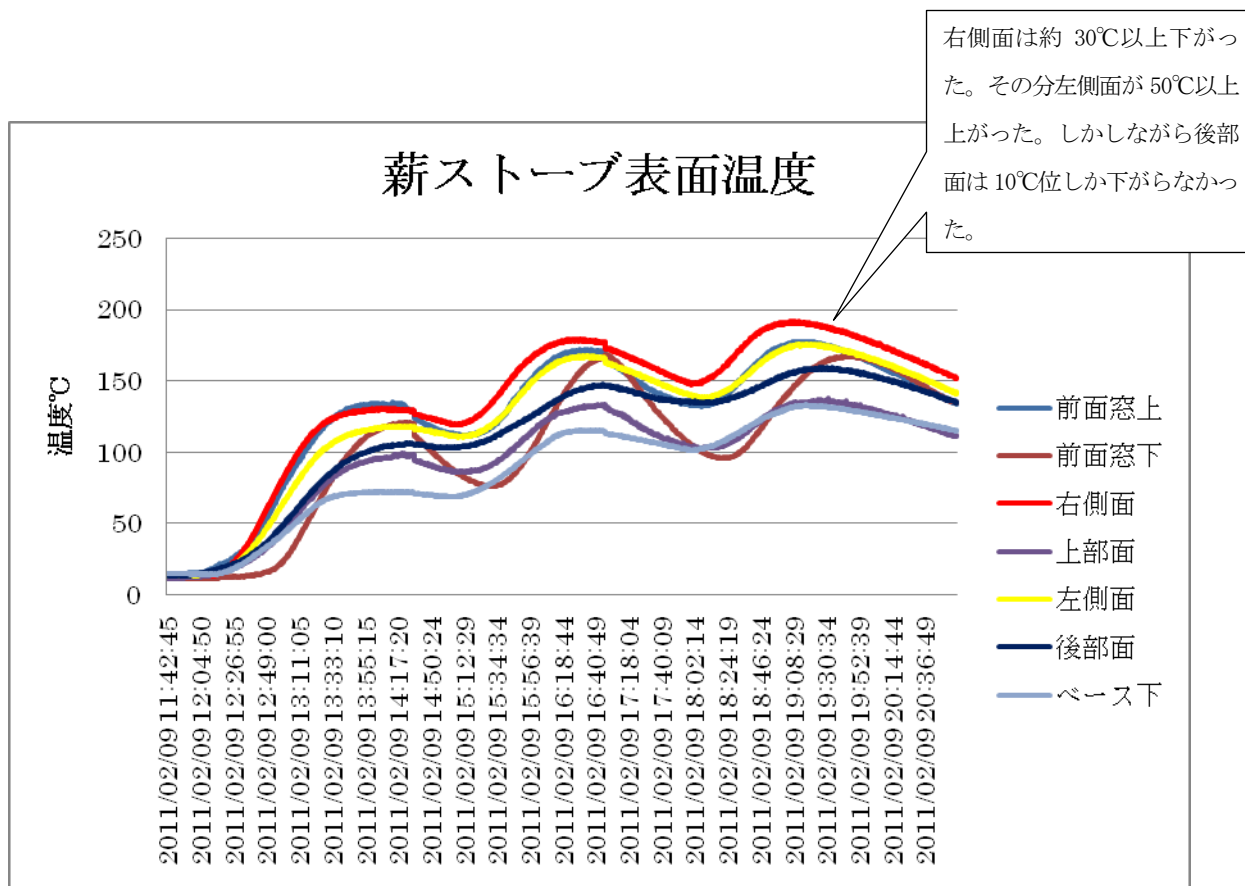
(c) 燃焼生成物質の生成量



(d) 燃焼生成物生成量の累積

2) - 5 - 1 薪ストーブ表面温度測定実験

条件2を3時間ごとに3回繰り返す。



図表 20：改造後の各部の温度推移

(2) - 5 - 2 考察

煙突基部の温度が 300℃に到達した時点で流路制御ダンパーを閉じた条件3では暖房効率は81%と高く、蓄熱の効果が現れている。さらに、条件4では流路制御ダンパーを200℃で閉じた場合、暖房効率は84.7%とさらに向上した。ただ、この場合PM排出量は4.650gと条件2に比べて約7倍になっており、その原因は不明である。これは、空気吸引口を閉じるまでのダンパー制御手順を条件4と同じ条件で行った条件5の結果と比べると、ほぼ等しい暖房効率が得られているにも拘わらずPM排出量は2.513gと条件4のおよそ半分となっており、原因究明を困難なものとしている。条件4では条件5に比べ、煙突基部の温度が200℃に到達するのに時間を要しており、いずれかの実験条件の僅かの違いが燃焼過程に大きく影響する可能性がある。

2) - 6 条件6 実験結果

天気：晴れ，気温[℃]：8.0，湿度[%]：68，薪数[本]：22

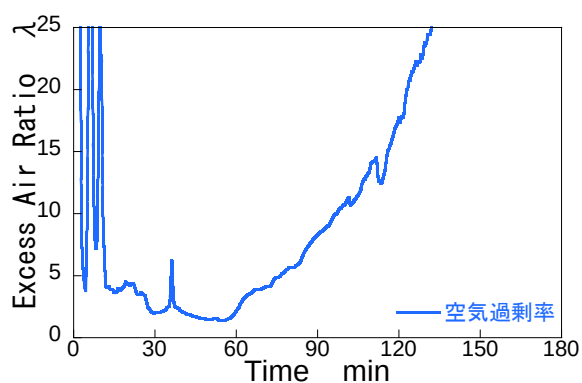
備考：比較用の市販薪ストーブ

生成ガス成分マスバランス及び暖房効率

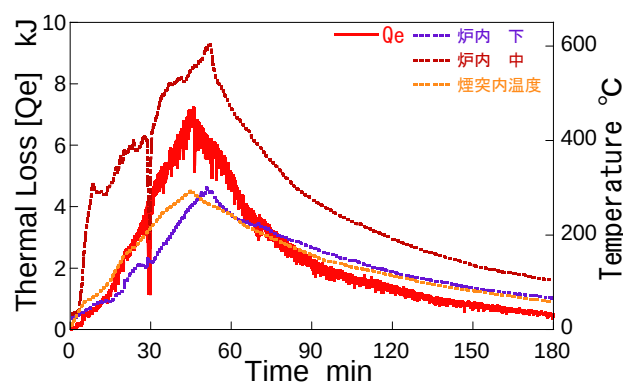
生成PM量(実験開始～吸気口ダンパー閉じるまで)

成分	g	C-g	O-g	H-g	N-g
CO	192.4	82.5	109.9		
CO ₂	3932.0	1072.4	2859.7		
NO	0.7		0.4		0.3
H ₂ O	1732.2		1539.8	192.5	
灰	94.0	94.0			
合計	5951.4	1248.8	4509.7	192.5	0.3
付着H ₂ O	283.4		251.9	31.5	
消費O ₂	3172.1		3172.1		
松	3700.6	1480.2	1973.7	246.7	
差分	1204.7	231.4	887.9	85.7	-0.3
暖房効率	64.7				

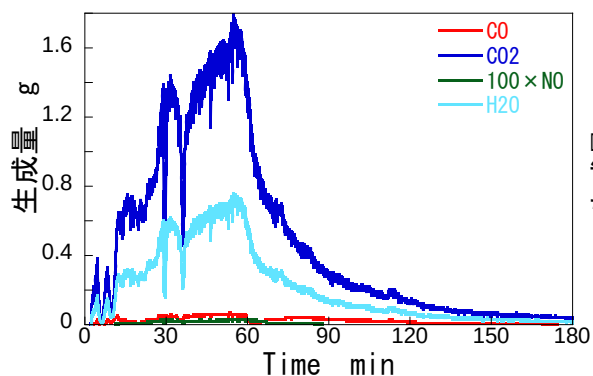
フィルター重量(乾)	g	0.0823
実験後重量(乾)	g	0.0877
実験中積算空気量	L	90
PM濃度	g/m ³	0.060
総量	g	3.762



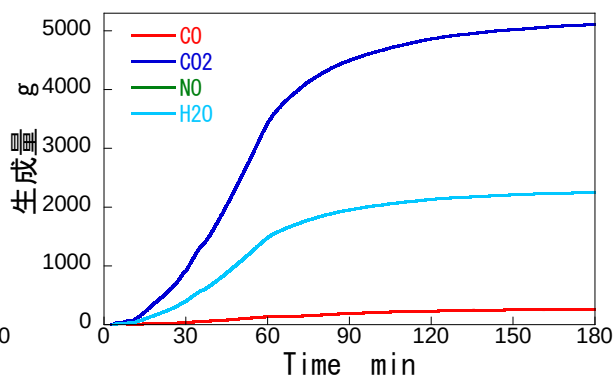
(a) 空気過剰率の時間変化



(b) 温度および熱損失の時間変化



(c) 燃焼生成物質の生成量

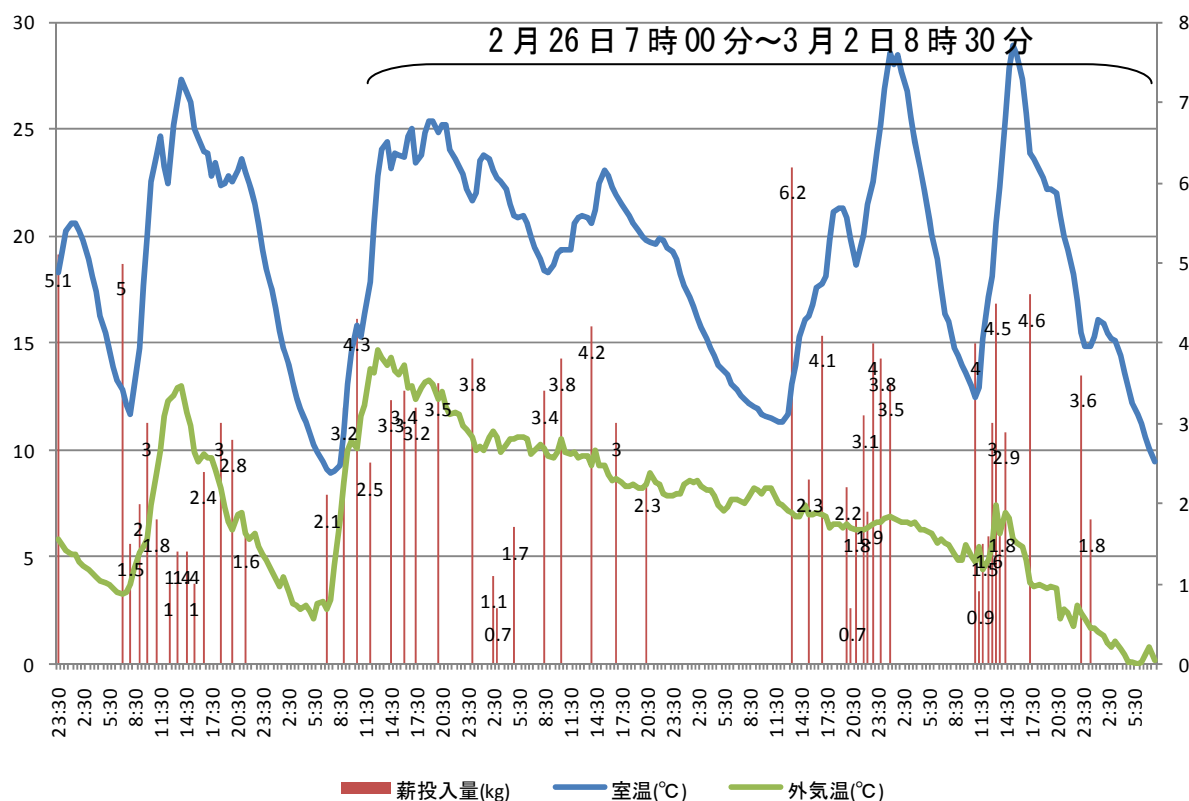


(d) 燃焼生成物生成量の累積

4.1.2 モニター実証試験調査

（１）室温を維持する場合の薪の投入量

図表 2 1 は数日間の連続データである。2 月 26 日 7 時 00 分～3 月 2 日 8 時 30 分の間で室温が 10℃を割り込まないよう監視し薪の投入を行った。室温 10℃以上維持できた 4 日間 96 時間で薪の投入量は計 115.5kg であった。1 日あたり 28.9kg の投入が必要である。なお、26 日は夜間の外気温が高く、27 日以降は反対に日中の外気温が上昇せず、日を追う毎に低下していることに留意する必要がある。



図表 2 1：薪投入と室温変化（2 月 25 日 23 時 30 分～3 月 3 日 8 時 00 分）

（２）薪の種類と投入量

針葉樹の薪を入手し、広葉樹の場合との燃焼状況の比較を試みた針葉樹の薪はホームセンターから購入した。1 束およそ 5kg で 598 円である。

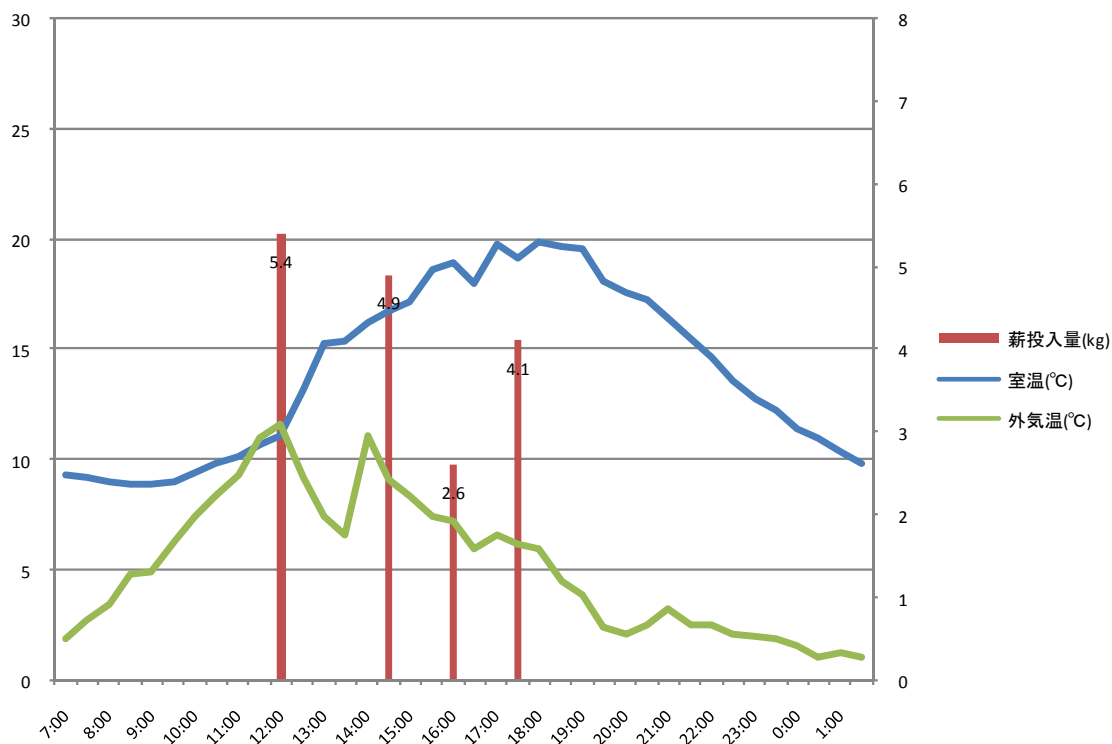


図表 2 2：広葉樹の薪



図表 2 3：市販の針葉樹の薪（1 束約 5kg）

図表 2 4 は針葉樹の薪投入と室温変化のグラフである。燃焼室いっぱい 5.4kg 投入し燃焼させた結果、燃焼開始からおき状態になるまでの時間は 2 時間という結果となった。広葉樹の場合 3 時間であったので密度に比例した火持ちの時間と考えられる。なお、外気温が上昇したあとの午後からの計測であったことに留意する必要がある。



図表 2 4：針葉樹の薪投入と室温変化（3 月 9 日） 薪投入量計 17.0kg

（3）ストーブの使用感と改善点

1) パーツの組立

- ① パーツがシンプルであるが重量があるため一人で組み立てることは難しい。
- ② めし合わせなど設置のガイドになる形がないため、どの部分にどのパーツを使用するのかとまどろ。
- ③ ボルトで補強したが後付けであったためデザイン上問題であった。（ボルトレス構造がよい）
- ④ 組み立て後に隙間から煙がもれた。密閉度を高める必要がある。

2) デザイン

- ① コンパクト、シンプルなデザインで大きさ的にも日本の家屋に合う大きさである。
- ② ストーブに比べて煙突がやや太いため、バランスは良くない。
- ③ 色は無機質でシンプルな外観にマッチしているが、扉上部がススで汚れる。（図表 2 6 参照）

3) 使用感

- ① 扉開閉時にススが室内へ流入するので、室内が汚れる。（図表 2 5 参照）
- ② 右側のパネルが高温になる。
- ③ 地震時に自動的に消火されるかが心配である。

4) 改善点

- a. 部屋や扉上部、扉のガラス面が汚れない方策が必要。
- b. パネルの温度上昇に対しては、改善策左右でパネルの厚さを変えるなど工夫が必要。
- c. 金物類は本体のシンプルなデザインにマッチした性能の良いものの開発が必要。
- e. 組み立て時に形がわかりやすいようにパズルのなめし合わせをつくるなどの工夫が必要。
- f. 地震時の消火や崩れない工夫（例えば SUS 板で外装するなど）が必要。
- g. 燃烧炉のサイズにマッチした段ボール梱包の燃料があれば手を汚さずに利用できる。積み重ねも可能となる。開発を提案する。



図表 2 5 : 床の汚れ。右側が敷物が敷かれていた部分で白い



図表 2 6 : 扉上部の汚れ

4.2. 事業実施目標の達成度と評価

目標	自己評価	備考
高効率化 85%以上	○	燃焼効率だけを考えた場合、95%以上の効率を実現し、また暖房効率についても85%近くも得られている。
環境性向上	△	PM濃度による比較になるが 暖房効率を上げるための改造後（条件3以降）は、バーモントキャスティングス社薪ストーブ「アスペン」より悪くなっている。改造前の条件2での実験ではPM濃度においても約半分になっている。PM濃度が悪くなった原因は、燃焼炉後部の改造にあると考えるので理論的説明をしていく。
小型化 W500× D500× H750	△	設置面積は達成できたが、H950 なり縦方向の大きさが実現できなかった。市販品流用と煙道の長さから縦方向については、やむを得ずと判断した。
低コスト化	—	最終のデザイン、仕様変更が生じたため未達。

図表27：目標とその達成度

4.3. 本事業で得られた今後の課題

1. ガスケットなどを考慮した組み立て易さの追求
2. 前面ドアが今回の赤松を利用した場合、ススでいく分か黒くなるため燃焼室からの煙道を前側から後ろ側に変更する。（現状広葉樹ではOK）
3. PM濃度を抑えるための燃焼部の再変更。
4. 暖房効率アップのための前後交互にある煙道の分配率を決める。
5. 事業化にむけたキャスター以外の安価な材料の調査・利用

5. 本事業を実施による将来展望

5.1. 事業化に向けて

暖房効率も燃焼テストにておおむね85%という数字が得られた。また蓄熱性にかかわる左右面の表面温度の問題も解決策が見つかった。

商品としての問題になってくる針葉樹使用時のガラスのすすの問題とPM濃度を抑えること早急に解決することが求められている。

5.2. 将来展望

23 年度前半には現状の問題を解決する。

23 年度前半から材料選定、デザインを入れた再設計を行う。

23 年度のびわ湖環境ビジネスメッセに出展

24 年度秋ごろより本格販売

ハウスメーカーの工務店さん中心に新築対象

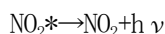
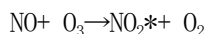
価格は、目標 40 万円

付 録

PG-250 測定原理

NO_x 分析計

サンプルガス中の窒素酸化物(NO)にオゾン(O₃)を反応させると、NOの一部が酸化されて二酸化窒素(NO₂)となる。生成したNO₂の一部は励起状態(NO₂*)になっており、基底状態に移るときに光を放射する。この現象が化学発光(Chemiluminescence)である。



この反応は極めて速く、かつ、NOのみが関与し、他の共存ガスの影響もほとんど受けない。またNOが低濃度であれば、発行光量はその濃度に比例する。この反応を利用してNO濃度を測定するのが化学発光法(CLD法)である。

PG-200 シリーズでは、サンプリングしたガスを2つに分け、一方はNO_xコンバータでNO₂をNOへ還元してNO_x(NO₂+NO)濃度測定用のサンプルガスとし、もう一方はそのままNOのサンプルガスとしている。

一方、別途エアフィルタから吸引された大気は、電子冷却器により調湿された後、オゾンガスとして反応チャンバーに導入される。

反応チャンバーの中では、サンプルとO₃の反応が起こり、反応に伴う発光がフォトダイオードで検出される。

O₂分析計

ジルコニア2セルポンプ式酸素分析計の原理

1. 構成と機能(Fig. 2 ジルコニア酸素分析計の原理図参照)

A) ヒータ：検出部を約800℃に加熱します。

B) センシングセル：

- 基準酸素室の酸素濃度を約100vol%にする。
- ガス検出室の酸素濃度を測定する。

C) ポンピングセル：ガス検出室の酸素濃度を0 vol%にする。

D) ガス検出室：ガス拡散孔を通して、排ガスを取り込む。

E) 基準酸素室：基準酸素微小電流によって、酸素濃度は約100vol%となる。

2. 検出部を高温(800℃)に加熱することによって、次の特性が生じる。

酸素濃淡電池作用：電極間に酸素濃度の異なる気体を置くと、酸素イオン伝導が起こり起電力を発生する。

酸素ポンピング作用：電極間に電流を流すと、電流に比例して酸素イオンが電流と逆方向に移動する。

センシングセルは(1)、(2)の特性、ポンピングセルは(2)の特性を利用している。

3. センシングセル部の原理

A) センシングセルの電極間に微小電流を流すと、ガス検出室内の酸素が基準酸素室に移動し基準酸素室の酸素濃度は、約100vol%となる。

B) センシングセルの電極間には、ガス検出室の酸素濃度と基準酸素室酸素濃度の違いによって、

次式の起電力が発生する。センシングセル部では、この電極間に発生している起電力を測定し、起電力が 350mV(ガス検出室内の酸素濃度が約 0 vol%)になるようポンピングセルに信号を送っている。

$$\text{起電力 } E = \text{約} -53.2 \times \log_{10} \frac{\text{ガス検出室の酸素濃度}}{\text{基準酸素室の酸素濃度}} \quad (100)$$

$$350 = -53.2 \times \log_{10} \frac{x}{100}$$

$$x = \text{約} 26 \text{ ppm} \div 0\%$$

4. ポンピングセル部の原理

センシングセルからの信号を受けたポンピングセルでは、ガス検出室内の酸素濃度が 0 vol%になるよう電極間に電流を流す。

流れた電流とサンプルガス中の酸素濃度は比例するため、電流を測定することによってサンプルガス中の酸素濃度を測定できる。

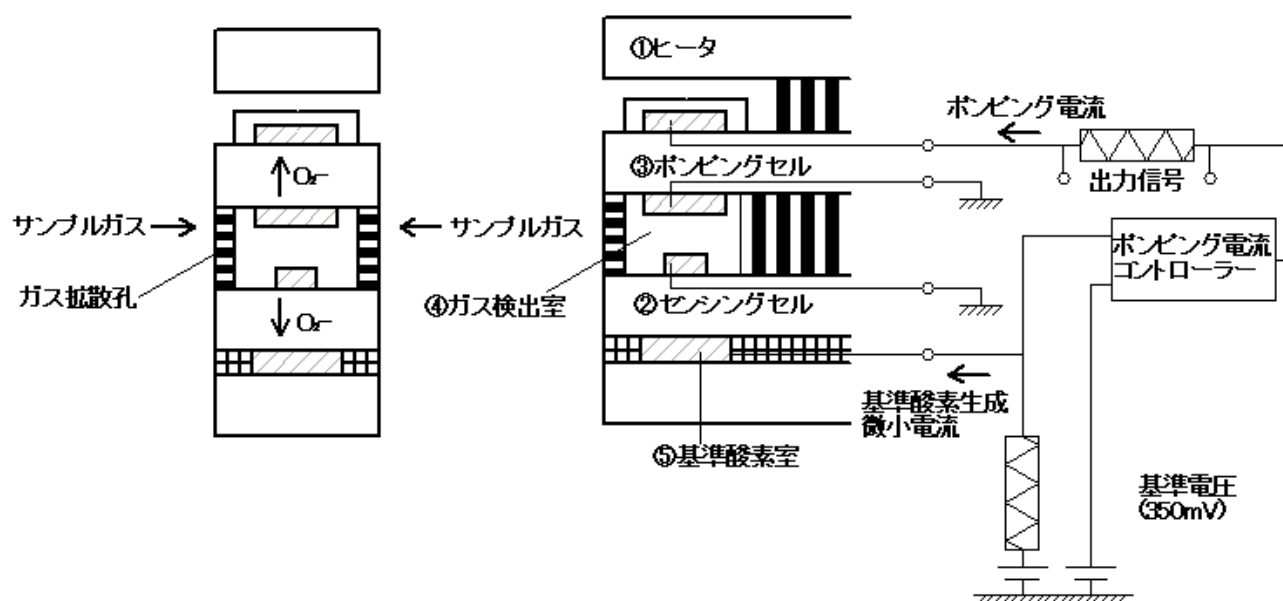
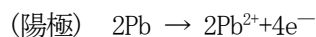
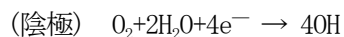


Fig. 1 ジルコニア酸素分析計の原理図

ガルバニ電極法は、電極方式の構造として陰極に貴金属の Au を、陽極に非金属である Pb を用い、電解液に KOH や KCl を用いる。この電極に適当な負荷抵抗を接続すると、気体透過膜を通して内部に入った酸素は次のような電気化学反応により陰極で還元される。



この電気化学反応により生じた起電力を測定し、酸素濃度を検出する。

CO 分析計

掘場赤外線ガス分析計は、内燃機関排ガス、煙道排ガス、その他排気ガスや大気汚染物質の放出量の監視、低減などを目的とした各種検査、各試験でのサンプルガス測定など多くの分野で幅広く使用され、その安定性は高い評価を受けている。

PG-200 シリーズ内臓の赤外線分析計は非分散赤外線分析法に基づく分析計で、試料ガス中の成分濃度の測定に用いられている。

異なった原子からなる分子は、それぞれ特定の波長域の赤外線を吸収し圧力一定のガス体では、濃度に対応した吸収を示すことが知られている。

赤外線分析計は、このような原理に基づいて、測定成分による赤外線吸収を利用することにより、その成分の濃度変化を連続的に測定する。連続的に一定周期で切り替わる電磁弁により試料ガスと比較ガス（ゼロガス）を交互に一定流量で測定セルに導入することにより、試料ガスそのものの赤外吸収によって生じる変調効果を利用したものである。

すなわち赤外光源から放射される赤外線は、測定セルを通過して測定対象ガスと同じガスが一定条件で封入された検出器に入射する。このとき、測定セルを通過する赤外線は、比較ガス流入時は測定成分による吸収のないエネルギーが検出器に到達し、一方、試料ガス流入時は、試料ガス中の測定成分対応したエネルギーが吸収される。透過光量は吸収された分だけ減衰して検出器に到達する。従って検出器に入射する赤外光量は、試料ガス中の測定成分によって吸収されるエネルギー分だけ変化する。

検出器には、受光室におけるガスの圧力変化を検出する可動膜が設けられており、測定セルの比較ガス流入時と試料ガス流入時との吸収エネルギーに差があると、受光室で吸収されるエネルギーが異なり、その差に相当する分だけ圧力差として可動膜に変位を与える。その変位を電気信号として増幅、出力する。

そのため逆に測定セル内での測定成分のガス濃度に変化がないかぎり、本質的に膜の変動が生じないので、試料ガスラインおよび比較ガスラインに同一ガス（例えば本装置のように比較ガス）を流す場合、またはガスを停止した場合も検出器の出力はゼロとなり、ゼロドリフトは原理的に起こらない。

また、試料ガス中に、吸収波長域が測定成分の波長域と一部重なるような成分が含まれるような場合は、ソリッドフィルタを設けて重なり合う波長域の赤外線をあらかじめ取り除き、その影響を受けないようにする。

堀場<AS>形赤外線分析計は、とくに妨害成分が多く含まれる試料ガスに使用される。この方式はFig. 3に示すよう複数個の検出セルが同一光学系に並べて配置されている。これによって、

- A) 測定ガス中の成分ガスによる干渉影響
- B) 外部からの振動などの外乱影響
- C) 光源部、セル部の劣化などによるドリフト

など、計器の不安定要因の影響を大幅に軽減することができるように開発された光学計である。

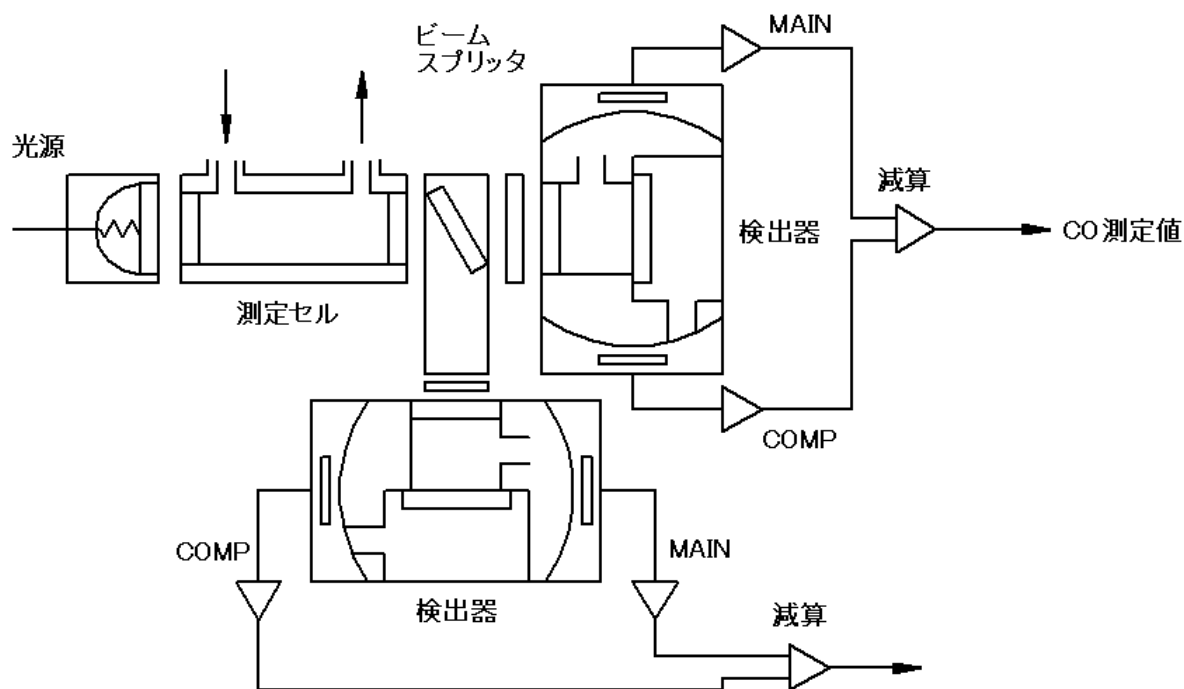


Fig. 2 クロスモジュレーション方式赤外線分析計測定原理図

つまり、MAIN 側(測定用)検出器と COMP 側(補償用)検出器とから構成され、MAIN 側では測定成分 A+妨害成分 B の信号を取り出し、COMP 側では妨害成分 B(一部測定を含むこともあります)の信号を取り出す。

これらの信号を CPU により演算処理し、目的の測定成分 A の信号を取り出すことによって、妨害成分の影響を受けずに、きわめて高精度な測定値が得られる。

また、CO 計と SO₂ 計の検出器の前に、赤外光を分光するビームスプリッタを設置している。これにより、1 つの光学系で 2 成分の同時測定が可能となっている。

CO₂ 分析計

CO₂ 検出器は焦電素子を使用しており CO₂ の吸収帯を測定するメインセンサと CO₂ の吸収帯と異なる波長で光量を検出するリファレンスセンサの2つのセンサを使用している。

試料セルを通過する赤外線が試料ガスの CO₂ によって吸収されるとメインセンサの信号が減少する。これを(リファレンスセンサの信号)－(メインセンサの信号)=CO₂ 信号という信号処理を行い、CO₂ 信号を得ている。また、CO₂ 信号/リファレンスセンサの信号で割り算することでセルの汚れなどによる光量変化の補正を行い CO₂ の濃度信号として、これを濃度に変換し出力している。

CO₂ 信号/リファレンスセンサの信号=CO₂ 濃度信号

風速計仕様

一般仕様

表示	4.5桁 液晶表示, グリーンバックライト付
サンプリングタイム	1回/秒
オートパワーオフ機能	約10分
電源	アルカリ単3電池×6本 又はACアダプタ(別売)
電池寿命	通常測定時:約45時間, データロガー機能動作時:約31時間 (風速測定時, バックライト消灯, アルカリ電池使用時)
使用温湿度	0~+50℃, 85%RH以下(但し結露のないこと)
保存温湿度	-20℃~+60℃, 85%RH以下(但し結露のないこと)
寸法	本体:W68×H180×D45mm 伸縮タイプ風速センサー:φ12mm 全長250mm~950mm(ケーブル長:約1.2m~1.9m)
重量	約360g(電池を含む)
センサー	風速センサー:ホットワイヤー 温度センサー:ガラスビーズタイプサーミスター
測定機能	m/s, km/h, マイル/h, ノット, フィート/min, 温度(℃)
付属品	取扱説明書×1, センサープローブ×1

電氣的性能(23±5℃にて)

測定単位	レンジ	分解能	精度
m/s	0.20～5.00m/s	0.01m/s	± (5%rdg+a) または ±(1%fs+a) のどちらか 大きい方
	5.1～25.0m/s	0.1m/s	
Km/h	0.70～18.00km/h	0.01km/h	
	18.0～72.0km/h	0.1km/h	
mile/h (mph)	0.50～11.20mph	0.01mph	
	11.2～44.7mph	0.1mph	
Knot	0.40～9.70knot	0.01knot	
	9.7～38.8knot	0.1knot	
Ft/min	40-3940ft/min	1ft/min	
※a は 0.1m/s, 0.3km/h, 0.2ile/h, 0.2knot, 20ft/min			
温度(センサー部)	レンジ	分解能	精度
Type K	-50.0～1300.0℃	0.1℃	±(0.4%rdg+0.5℃)
	-50.0～100.0℃		±(0.4%rdg+1℃)
Type J	-50.0～1100.0℃	0.1℃	±(0.4%rdg+0.5℃)
	-50.0～100.0℃		±(0.4%rdg+1℃)